

■ Research Article



การทดสอบประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM2.5 ของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเชิง Efficiency Test of PM2.5 Filtration of an Urban Air Purifier using the Centrifugal Jet Speed Technique

ไกรพิชิต เมืองวงษ์* และกฤตกร วงศ์ศรี

ศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อการจัดการภัยพิบัติ (ERIG)
เลขที่ 298 หมู่ 2 ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น 40270

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

วัตถุประสงค์ของบทความฉบับนี้คือเพื่อนำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM2.5 ของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเชิง ในการศึกษาได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องฟอกอากาศด้วยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASNI/AHAM AC-1-2002 กับเครื่องกำเนิดอนุภาคละอองลอยแบบการเผาไหม้ชีวมวลภายในห้องทดสอบขนาด 5.5 x 6.0 x 5.0 m เครื่องวัดฝุ่น PM2.5 ได้ถูกใช้วัดค่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคภายในห้องทดสอบขณะปิดและเปิดเครื่องฟอกอากาศที่ความสูงประมาณ 1.5 m และอัตราการไหลการเก็บตัวอย่าง 1.5 L/min เก็บข้อมูลทุก 1 min เป็นเวลา 120 min จากการทดสอบพบว่าค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องฟอกอากาศมีประสิทธิภาพการกรองอนุภาคได้ถึง 97.70% ในเวลาทดสอบ 120 min และมีค่าอัตราการปลดปล่อยอากาศสะอาดที่ประมาณ 7,750.93 ft³/hr

คำสำคัญ: อนุภาค, ฝุ่น, แบคทีเรีย, เครื่องฟอกอากาศ

Abstract

The aim of this paper is to test the PM2.5 filtration efficiency of an urban air purifier using the centrifugal jet speed technique. In this study, the filtration efficiency of PM2.5 of the tested urban air purifier was tested by the ASNI/AHAM AC-1-2002 standard test method with the combustion aerosol particle generators inside the 5.5 x 6.0 x 5.0 m test chamber. The real-time PM2.5 monitor was used for measuring the mass concentrations of PM2.5 inside the test chamber while the tested air purifier was turned off and on at approximately 1.5 m height and a sampling flow rate of 1.5 L/min and collect data every 1 min for 120 min. It was found from the experiment that the tested urban air purifier could be effective in the removal of PM2.5 up to 97.70 % at the testing time of 70 minutes and the clean air delivery rate was showed about 7,750.93 ft³/hr.

Keywords: Particle, Dust, PM2.5, Air Purifier

Received:
2 December 2022
Revised:
3 January 2023
Accepted:
16 January 2023
Published:
18 January 2023

***Corresponding Author:**
erigthailand@gmail.com

Copyright:
© Rajamangala University of Technology Lanna.
All right reserved

ISSN
Print: 2586-8500
Electronic: 2586-8632

1. บทนำ

ฝุ่นละออง PM2.5 เป็นปัญหาหลักในกรุงเทพมหานครและเมืองขนาดใหญ่ในปัจจุบัน เช่น เชียงใหม่ ขอนแก่น นครราชสีมา โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศมีผลกระทบต่อทัศนวิสัย อากาศตามฤดูกาล สุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชากร และกระบวนการในอุตสาหกรรมมากมาย เช่น อาหาร ห้องประกอบอาหาร ประงยา หรือพื้นที่ในโรงพยาบาล อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และสารกึ่งตัวนำ และการปนเปื้อนในพื้นที่และผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อคุณภาพและผลการผลิตได้ เป็นที่ยอมรับว่าคุณภาพอากาศจะดีต่อสุขภาพหรือไม่ขึ้นอยู่กับระดับหรือปริมาณมลพิษที่ปนเปื้อนในอากาศ สารมลพิษที่สำคัญคือสารอนุภาค (particulate matter) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 μm หรือที่เรียกว่า PM 2.5 (USEPA, 1998) สารอนุภาคขนาดเล็กคือการรวมกันของโมเลกุล (molecular) หรือกลุ่มโมเลกุลของสารหรือสารประกอบต่าง ๆ ที่ลอยอยู่บนกับฝุ่นละอองลอยในอากาศที่เราหายใจเข้าไป ซึ่งมีความหลากหลายทั้งทางด้านกายภาพ (physical) และองค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) มีทั้งสภาพที่เป็นของแข็ง (solid) หรือของเหลว (liquid) สามารถแขวนลอยได้เป็นเวลานาน กลุ่มโมเลกุลในอากาศมีแหล่งกำเนิดต่าง ๆ กัน เช่น เขม่าจากเครื่องยนต์ดีเซล การเผาป่า ฝุ่นจากการขนส่ง ฝุ่นจากการเกษตรกรรมหรือการก่อสร้าง หรือกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงจำเป็นที่จะต้องมีการวัด วิเคราะห์ และควบคุมปริมาณการแพร่กระจายของฝุ่นละอองลอยในอากาศจากแหล่งกำเนิด เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมหรือมีผลกระทบน้อยที่สุด

การควบคุมปริมาณการแพร่กระจายของฝุ่นละอองลอยมีหลายวิธีการขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของฝุ่นละอองลอย โดยสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์และเคมี กระบวนการในธรรมชาติมีการกำจัดฝุ่นละอองลอยได้ตลอดเวลาและอย่างต่อเนื่องขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และสภาพทางอุตุนิยมวิทยา เมื่อฝุ่นละอองลอยถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดออกสู่อากาศจะถูกควบคุมโดยกระบวนการต่าง ๆ ของพฤติกรรมเชิงพลวัต (dynamic behavior) ได้แก่ การตกตะกอน (precipitation) การแพร่กระจาย (diffusion) การรวมตะกอน (coagulation) นอกจากนั้นยังอาจเกิดอันตรกิริยาเชิงเคมี (chemical interaction) กับองค์ประกอบเคมีซึ่งอยู่รอบ ๆ ได้ด้วย ฝุ่นละอองอาจถูกกำจัดออกจากอากาศได้โดยกระบวนการนิวเคลียส (nucleation process) ในการเกิดเมฆ โดยกระบวนการชะล้างของฝน หิมะ หรือลูกเห็บในบรรยากาศ (Intra, 2019) อย่างไรก็ตาม เมื่อฝุ่นละอองอากาศมีปริมาณมากเกินไปธรรมชาติจะควบคุมไว้ได้จึงเป็นหน้าที่ของมนุษย์ที่ต้องควบคุมการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมไม่ให้กลับมาผลกระทบต่อมนุษย์ในภายหลัง การควบคุมการปล่อยฝุ่นละอองลอยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การควบคุมโดยการเจือจางในบรรยากาศและการควบคุมที่แหล่งกำเนิด วิธีแรกนั้นทำได้ง่ายโดยการเพิ่มขนาดความสูงของปล่องหรือการใช้ปล่องไฟฟ้าให้ความร้อน ทำให้ฝุ่นละอองลอยพุ่งกระจายออกไปภายนอกและฝุ่นละอองลอยถูกเจือจางในอากาศ แต่วิธีนี้แม้ว่าจะทำให้ค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองลอยลดลง แต่ไม่ยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อม วิธีที่ดีกว่าคือการควบคุมที่แหล่งกำเนิด อาจทำได้โดยการเลือกชนิดเชื้อเพลิงและกระบวนการผลิตที่ปล่อยฝุ่นละอองลอยน้อย หรือการติดตั้งอุปกรณ์ดักจับฝุ่นละอองลอยก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม วิธีการควบคุมฝุ่นละอองลอยมีหลายวิธีการขึ้นอยู่กับลักษณะกายภาพ ความเป็นพิษและองค์ประกอบของฝุ่น อุปกรณ์ดักแยกฝุ่นละอองลอยถูกออกแบบโดยการใช้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี หรือไฟฟ้าของอนุภาค วิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการแยกฝุ่นในปัจจุบันได้แก่ เช่น เครื่องแยกแบบ

แรงเฉื่อย (inertial separator) หรือไซโคลน (cyclone) ตัวรวบรวมแบบเปียก (wet collector) ฝากรอง (fabric filter) และเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator) (Hinds, 1999)

สำหรับการควบคุมฝุ่นละอองลอย PM_{2.5} ภายในอาคารในประเทศไทย ปัจจุบันมีการแก้ปัญหาโดยผู้เชี่ยวชาญ ผู้รับผิดชอบจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคอุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรการควบคุมฝุ่น PM_{2.5} ได้แก่ 1) การสวมหน้ากากที่สามารถกรองฝุ่น PM_{2.5} 2) การสั่งปิดโรงเรียน หยุดเรียน หยุดงาน 3) การทำความสะอาดถนน 4) การเข้มงวดการเผาในที่โล่ง 5) การฉีดพ่นน้ำไปในอากาศ 6) การบังคับใช้มาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวด 7) การกำหนดเขตปลอดมลพิษ 8) การลดแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งในภาครัฐและภาคประชาชน 9) การควบคุมควันดำจากรถยนต์ การควบคุมการปล่อยควันเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 10) การควบคุมการเผาพืชหรือป่าเพื่อทำการเกษตรและกิจกรรมอื่น ๆ 11) การสร้างฝันทึบ เป็นต้น แต่ก็ยังไม่สามารถลดระดับมลพิษให้อยู่ภายในหรือใกล้เคียงค่ามาตรฐานได้

เครื่องฟอกอากาศขนาดใหญ่ระดับชุมชนจึงได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ในการลดปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ภายในอาคารหรือที่โล่งแจ้งทั้งในประเทศและต่างประเทศ (Checa-Vizcaino *et al.*, 2016; Chen, 2019; Crook, 2020; Giles, 2019; Grzebielec *et al.*, 2017; Piselli *et al.*, 2018; Smog Free Tower, 2019) โดยมีการใช้หลักการกรองอนุภาค เช่น ไซโคลน การรวบรวมแบบเปียก ฝากรองและการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Hinds, 1999) แต่เนื่องจากเป็นการนำวิธีการจัดการกับฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่มาใช้ในการควบคุมฝุ่น PM_{2.5} ซึ่งมีข้อเสียคือ ระบบดังกล่าวเป็นการแก้ไขจากปลายเหตุและยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ รวมถึงส่งผลกระทบต่อโดยรวมจากการใช้ชีวิตปกติ และ สร้างสถานการณ์ที่เกิดความยุ่งยาก นอกจากนั้นยังใช้งบประมาณและค่าใช้จ่ายสูงมาก ซึ่งยังไม่มี การใช้วิธีการดูดฝุ่น หรือเครื่องกลไกการกำจัดฝุ่นโดยตรงเพื่อควบคุมฝุ่น PM_{2.5} ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมลพิษที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีความสลับซับซ้อนในการควบคุมฝุ่น PM_{2.5}

ดังนั้น การพัฒนาเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเร็ว โดยการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเร็วทำหน้าที่ทำให้ละอองน้ำให้ไปจับตัวกับอากาศที่มีฝุ่นละอองในระดับที่ขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm ได้ดี เนื่องจากน้ำและละอองน้ำที่จับกับฝุ่นละอองในระดับที่ขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm ช่วยประหยัควัสดุสิ้นเปลืองและช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและไม่ก่อให้เกิดขยะจากแผ่นกรองเสื่อมสภาพเนื่องจากไม่มีการใช้แผ่นกรองอากาศและประหยัดพลังงานเนื่องจากใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ทั้งระบบ โดยเครื่องฟอกอากาศขนาดใหญ่ระดับชุมชนเมืองได้มีการใช้งานในหลายแห่งทั่วโลก เช่น เครื่องฟอกอากาศขนาดใหญ่ที่มีชื่อว่า "ยักษ์เขียว" ที่มีความสามารถในการกรองอากาศได้ถึง 700,000 m^3/day ได้ถูกนำมาติดตั้งที่บริเวณประตูท่าแพ จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2562 แต่อย่างไรก็ตาม ยังเกิดข้อสงสัยเกี่ยวกับวิธีการทดสอบหรือการประเมินประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM_{2.5} ของเครื่องฟอกอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้ภายในอาคารหรือที่โล่งแจ้ง ว่าจะมีการทดสอบหรือวิธีการทดสอบตามมาตรฐานใด อย่างไร ยังไม่มีหน่วยงานตรวจสอบมาตรฐานไหนที่รับทดสอบประสิทธิภาพการกรองของเครื่องฟอกอากาศขนาดใหญ่ระดับนี้ เนื่องจากขนาดของเครื่องฟอกอากาศมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายลำบากและทำให้เกิดความยุ่งยากในการทดสอบตามมาตรฐานของเครื่องฟอกอากาศที่ต้องทดสอบภายในห้องทดสอบ (test chamber) ที่มีการกำหนดขนาดมิติตามมาตรฐาน เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการ

กรองฝุ่น PM2.5 ที่แท้จริงของเครื่องฟอกอากาศขนาดใหญ่ระดับชุมชนเมือง ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM2.5 ของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเจ็ทโดยอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 เป็นแนวทางในการออกแบบการทดสอบ ซึ่งข้อมูลจากการทดสอบในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นแนวทางในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการดักกรองฝุ่น PM2.5 ของเครื่องฟอกอากาศขนาดใหญ่อื่นได้

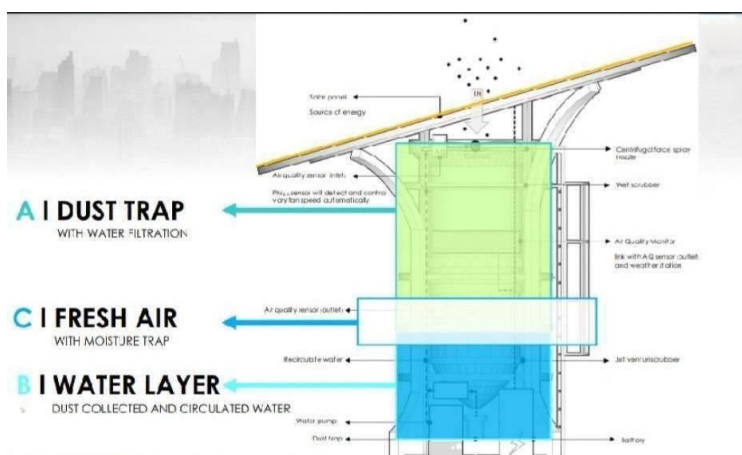
2. วัตถุประสงค์

เพื่อนำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM2.5 ของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเจ็ทโดยอ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 เป็นแนวทางในการออกแบบการทดสอบ ซึ่งข้อมูลจากการทดสอบในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นแนวทางในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการดักกรองฝุ่น PM2.5 ของเครื่องฟอกอากาศขนาดใหญ่อื่นได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ต้นแบบเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเจ็ท

รูปที่ 1 แสดงลักษณะโครงสร้างของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเจ็ทที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อการจัดการภัยพิบัติ (ERIG) ตามอนุสิทธิบัตรเลขที่ 16612 ซึ่งมีลักษณะที่ประกอบด้วย ช่องดูดฝุ่นทรงกรวย ที่ภายในจะมีใบพัด โดยใบพัดจะเชื่อมต่อกับ มอเตอร์ขับ ทำหน้าที่ดูดอากาศและฝุ่นละอองจากภายนอก เข้ามาภายในช่องดูดฝุ่นทรงกรวย ตำแหน่งหนึ่งของช่องดูดฝุ่นทรงกรวยจะมีหัวพ่นด้วยระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ทำหน้าที่พ่นเพื่อให้น้ำไปจับตัวกับอากาศที่มีฝุ่นละอองในระดับที่ขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm ในลำดับที่หนึ่ง โดยจะพ่นไปในทิศทางเดียวกันกับการหมุนของใบพัด ตำแหน่งถัดจาก ระบบอัลตราโซนิก ลงไปทางด้านล่างของใบพัด จะมีระบบอัลตราโซนิกทำหน้าที่พ่นละอองน้ำให้ไปจับตัวกับอากาศที่มีฝุ่นละอองในระดับที่ขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเจ็ทที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อการจัดการภัยพิบัติ



รูปที่ 2 ภาพถ่ายของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเจ็ทที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อการจัดการภัยพิบัติ

ในลำดับที่สอง ตำแหน่งถัดจาก ระบบอัลตราโซนิกลงไปทางส่วนล่างของ ช่องดูดฝุ่นทรงกรวย จะมีเจ็ทสับเบอร์แบบเวนทูลรี (Jet venture scrubber) ทำหน้าที่สำหรับแยกอนุภาคของแข็ง หรือ ส่วนประกอบของฝุ่นที่มีขนาดเล็กโดยอัตราการไหลก๊าซ (Water gas scrubber) จะถูกควบคุมด้วยตัวปรับการไหลก๊าซผ่านอุปกรณ์ทอเวนทูลรี (Venture throat) โดยน้ำแรงดันสูงจะถูกฉีดเข้าไปในทิศทางการไหลเดียวกับก๊าซ ความเร็วของก๊าซที่สูงทำให้เกิดสภาวะปั่นป่วน (Turbulent) ซึ่งทำให้น้ำแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็ก ทำให้มีพื้นผิวสัมผัสสูงขึ้นเมื่อชนกับก๊าซอนุภาคของน้ำจะไปจับตัวกับอนุภาคของฝุ่น หรือ ของแข็งขนาดเล็กที่อยู่ในละอองฝุ่น ตำแหน่งถัดจากทอเวนทูลรีลงไปด้านล่าง จะเป็นถังน้ำ (Cylindrical body) โดยน้ำและละอองน้ำที่จับกับฝุ่นละอองในระดับที่ขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 จะลำเลียงเข้ามาผสมกับน้ำในถังน้ำและน้ำในถังน้ำจะเป็นตัวทำลายฝุ่น โดยการตกเนื่องของฝุ่น จากน้ำหนักฝุ่น (Gravity setting chamber) โดยฝุ่นที่ตกตะกอนในถังน้ำจะถูกดูดไปยังถังเก็บฝุ่นที่มีระบบกรองน้ำเพื่อแยกน้ำให้ออกจากฝุ่น ตำแหน่งหนึ่งของถังเก็บฝุ่นจะมีวาล์วระบายน้ำทิ้งเพื่อระบายเศษตะกอนฝุ่นออกจากถังเก็บฝุ่นและเป็นการระบายน้ำออกจากระบบลำเลียงเพื่อทำความสะอาด อากาศที่ผ่านน้ำภายในถังน้ำจะลอยขึ้นด้านบน ฝบน้ำภายในถังน้ำ จากการบำบัดภายในระบบไปแล้วจะถูกวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ อีกครั้ง โดยเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละอองที่ติดตั้งไว้ที่ช่องทางออกของอากาศอย่างน้อยที่สุดหนึ่งช่อง เพื่อเป็นการวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ก่อนจะถูกเป่าออกมาภายนอกเป็นอากาศหมุนเวียน เพื่อสร้างอากาศที่บริสุทธิ์ มายังบริเวณที่มีผู้อาศัย หรือ แหล่งชุมชนอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาคุณภาพของอากาศบริเวณโดยรอบและบริเวณใกล้เคียงไว้ในระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐานหรือไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน โดยการทำงานของเครื่องดูดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 μm รูปที่ 2 แสดงภาพถ่ายของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเจ็ทที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อการจัดการภัยพิบัติ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเร็ว

	คุณสมบัติ
หลักการ	Centrifugal jet speed technique
ช่วงขนาดอนุภาคที่กรองได้	PM2.5
ประสิทธิภาพในการกรองอนุภาค	97 % ที่เวลาประมาณ 120 min
ความเร็วอากาศ	สูงสุด 120,000 m ³ /hr
อัตราการปลดปล่อยอากาศสะอาด (Clean Air Delivery Rate)	7,750.93 ft ³ /hr ที่ 20,000 m ³ /hr
แรงดันไฟฟ้าที่ใช้	48 VDC Hybrid Solar Cells, Battery
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	300 – 5,000 W
ขนาดมิติ	2.5 m x 5.3 m x 3.24 m

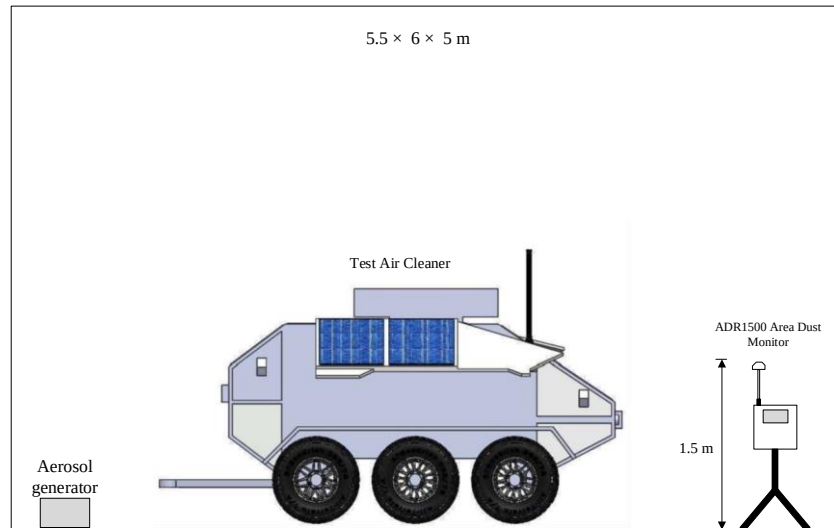
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเร็ว สามารถดักกรองฝุ่น PM2.5 ได้ 97 % ที่เวลาประมาณ 120 min ความเร็วอากาศสูงสุด 120,000 m³/hr ใช้พลังงาน 300 – 5,000 W ขนาดมิติ 2.5 m x 5.3 m x 3.24 m

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพ

รูปที่ 3 แสดงแผนภาพการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องต้นแบบ ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องต้นแบบนี้ได้ใช้วิธีการมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 เป็นแนวทางในการทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM2.5 และค่า CADR โดยระบบการทดสอบจะประกอบด้วย ห้องทดสอบขนาดใหญ่ เครื่องฟอกอากาศต้นแบบ เครื่องวัดฝุ่น PM2.5 และแหล่งกำเนิดอนุภาคฝุ่น PM2.5 ซึ่งในการศึกษานี้ได้สร้างห้องจำลองขนาดมิติ 5.5 x 6.0 x 5.0 m (กว้าง x ยาว x สูง) มีความจุประมาณ 5,826.92 ft³ สำหรับการทดสอบ ใช้เครื่องสร้างอนุภาคควันแบบการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass Combustion Aerosol Generator) ในช่วงขนาดอนุภาคไม่เกินกว่า 2.5 µm ที่ความเข้มข้นเชิงมวลไม่เกิน 1,000 µg/m³ ซึ่งเป็นความเข้มข้นเชิงมวลของ PM2.5 ที่อยู่ในย่านการวัดของเครื่องวัดฝุ่น PM2.5 และยังเป็นความเข้มข้นเชิงมวลสูงสุดของฝุ่น PM2.5 ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมในชุมชนเมืองจริง วัดความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาค (Particle Mass Concentration) ขณะปิดและเปิดฟอกอากาศด้วยเครื่องวัดฝุ่น PM2.5 Area Dust Monitor ของบริษัท Thermo Scientific รุ่น ADR1500 ที่ความสูงประมาณ 1.5 m และอัตราการไหลการเก็บตัวอย่าง 1.5 L/min เก็บข้อมูลทุก 1 min เป็นเวลา 120 min โดยสมรรถนะของเครื่องฟอกอากาศสามารถประเมินได้ด้วยค่า CADR (Clean Air Delivery Rate) ตามมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2015 โดยค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศสามารถคำนวณได้จาก

$$CADR = V(k_t - k_n) \quad (1)$$

เมื่อ V คือขนาดของห้องทดสอบ (ft³) k_t คือการสลายตัวของฝุ่นขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศและ k_n คือการสลายตัวของฝุ่นตามธรรมชาติ (Natural decay)



รูปที่ 3 แผนภาพการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ

โดยค่าการสลายตัวของฝุ่นขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศและการสลายตัวของฝุ่นตามธรรมชาติสามารถคำนวณได้จาก

$$k = \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i \ln C_{t_i} \right) - \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln C_{t_i} \right)}{n}}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2}{n}} \quad (2)$$

เมื่อ C_t คือความเข้มข้นของฝุ่นที่เวลา t และ n คือจำนวนของจุดข้อมูลที่ใช้ในการถดถอย (Regression) ซึ่งค่า k คือค่าคงที่การสลายตัว (Decay constant) มีหน่วยเป็น min^{-1} และ t คือเวลาที่มีหน่วยเป็น min และสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องฟอกที่รวมการสลายตัวของฝุ่นตามธรรมชาติ η_n ได้จาก

$$\eta_n = \left(1 - \frac{C_0}{C_i} \right) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ C_0 คือความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศที่เวลาที่ 0 min และ C_i คือความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคขณะเปิดเครื่องฟอกอากาศที่เวลาที่ i min รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายของการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องต้นแบบ ในการทดสอบนี้ได้ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 การทดลอง ตารางที่ 2 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ



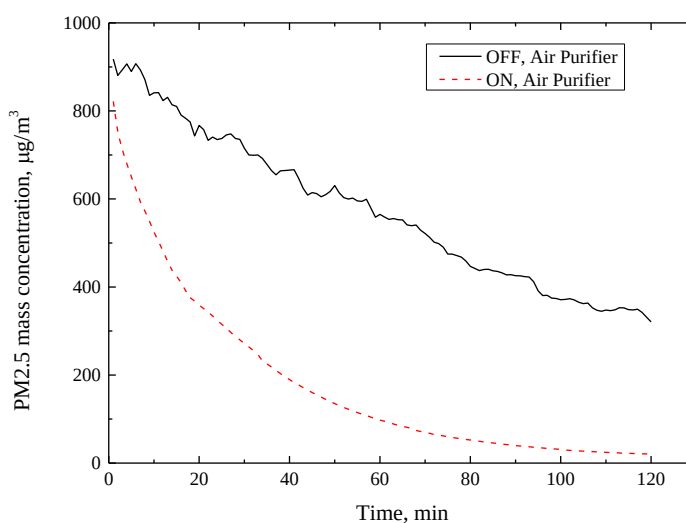
รูปที่ 4 ภาพถ่ายการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ

ตารางที่ 2 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ

	ช่วงที่กำหนด
ชนิดอนุภาค	อนุภาคควันแบบการเผาไหม้ชีวมวล
ช่วงขนาดอนุภาค	ไม่เกินกว่า 2.5 μm
ความเข้มข้นเชิงมวล	ไม่เกิน 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ขนาดห้องทดสอบ	5,826.92 ft^3
ความชื้น	ประมาณ 75% RH
ความดันทำงาน	1 bar
อุณหภูมิทำงาน	35°C

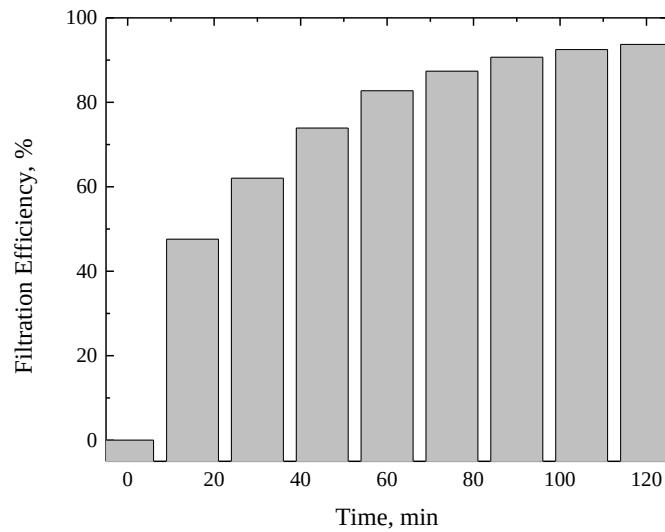
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

รูปที่ 5 แสดงการลดลงของความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM_{2.5} ภายในห้องทดสอบขณะปิดและเปิดเครื่องฟอกอากาศต้นแบบที่เวลา 120 min จากรูป ในขณะที่ปิดเครื่องฟอกอากาศที่เวลา 120 min จะเห็นการลดลงของความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM_{2.5} ด้วยการสลายตัวของฝุ่นตามธรรมชาติ (Natural decay) เหลือ 320.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จากความเข้มข้นเริ่มต้น 917.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งการลดลงของความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เกิดจากผลการแพร่กระจายและการตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วง และเมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศที่เวลา 120 min จะเห็นการลดลงของความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM_{2.5} เหลือ 20.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จากความเข้มข้นเริ่มต้น 880.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งการลดลงของความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ในขณะที่เปิดเครื่องฟอกอากาศจะเป็นผลจากการดักกรองฝุ่น PM_{2.5} ด้วยการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเชิงเหวี่ยงเป็นหลัก

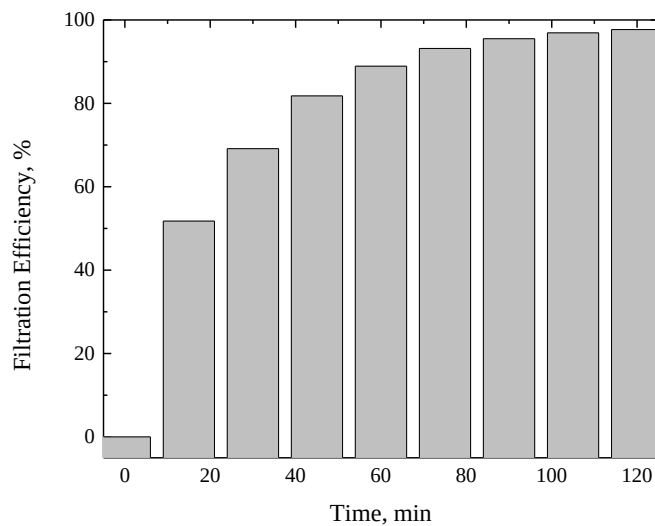


รูปที่ 5 การลดลงของความเข้มข้นเชิงมวลของฝุ่น PM_{2.5} ภายในห้องทดสอบขณะปิดและเปิดเครื่องฟอกอากาศต้นแบบที่เวลา 120 min

รูปที่ 6 แสดงประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM_{2.5} ของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบที่ไม่รวมผลการแพร่กระจายและการตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วงหรือการสลายตัวของฝุ่นตามธรรมชาติที่เวลา 120 min จากรูปจะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM_{2.5} มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทดสอบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มเวลาในการทำให้อากาศไหลเวียนซ้ำภายในเครื่องฟอกอากาศมากขึ้นจึงทำให้สามารถกรองอนุภาคได้ดีขึ้น โดยประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM_{2.5} ที่นาที่ที่ 1 เท่ากับ 10.47 % และเมื่อเวลาผ่านไป 120 min ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM_{2.5} เพิ่มขึ้นเป็น 93.70 % รูปที่ 7 แสดงประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM_{2.5} ของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบที่รวมผลการแพร่กระจายและการตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วงหรือผลของการสลายตัวของฝุ่นตามธรรมชาติที่เวลา 120 min เมื่อคิดผลของการสลายตัวของฝุ่นตามธรรมชาติของฝุ่น PM_{2.5} แล้วจะได้ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM_{2.5} ที่นาที่ที่ 1 เท่ากับ 12.80 % และเมื่อเวลาผ่านไป 120 min ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM_{2.5} เพิ่มขึ้นเป็น 97.70 %



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM2.5 ของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบที่ไม่รวมผลการแพร่กระจายและการตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วงที่เวลา 120 min



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM2.5 ของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบที่รวมผลการแพร่กระจายและการตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วงที่เวลา 120 min

ตารางที่ 3 แสดงการคำนวณหา k_t และ k_n จากสมการที่ 2 เพื่อหาค่า CADR ของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ จากข้อมูลในตารางที่ 3 สามารถคำนวณค่าอัตราการปลดปล่อยอากาศสะอาดหรือ CADR ได้จากสมการที่ 1 ซึ่งจะได้อัตรา CADR เท่ากับ 7,750.93 ft³/hr ซึ่งหมายความว่าเครื่องฟอกอากาศต้นแบบนี้สามารถปล่อยอากาศสะอาดออกมาจากทางออกของเครื่องได้ประมาณ 7,750.93 ft³/hr โดยผลการทดสอบจะเห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถลดความเข้มข้นฝุ่น PM2.5 ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศลงได้และมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องฟอกอากาศสำหรับลดความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ภายนอกอาคารได้

ตารางที่ 3 การคำนวณหาค่า k_t และ k_n ของเครื่องฟอกอากาศต้นแบบ

t_i	t_i^2	C_{t_i}		$\ln C_{t_i}$		$t_i \ln C_{t_i}$	
		k_t	k_n	k_t	k_n	k_t	k_n
1	1	917.7	821.6	6.82	6.71	6.82	6.71
15	225	810.2	424.6	6.70	6.05	100.46	90.77
30	900	715.2	271.6	6.57	5.60	197.18	168.13
45	2025	614.6	160.3	6.42	5.08	288.94	228.47
60	3600	565.1	97.6	6.34	4.58	380.22	274.85
75	5625	475	60	6.16	4.09	462.25	307.08
90	8100	425.8	39.7	6.05	3.68	544.86	331.32
105	11025	362.3	27.2	5.89	3.30	618.71	346.84
120	14400	320.7	20.2	5.77	3.01	692.46	360.68
$\sum_1^n t_i$		$\sum_1^n t_i^2$		$\sum_1^n \ln C_{t_i}$		$\sum_1^n t_i \ln C_{t_i}$	
				k_t	k_n	k_t	k_n
7260		583220		56.73	42.11	3291.90	2114.85

5. บทสรุป

ในบทความฉบับนี้ได้นำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM2.5 ของเครื่องฟอกอากาศระดับชุมชนเมืองที่ใช้เทคนิคการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางความเร็วเจ็ท ในการศึกษาได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคของเครื่องฟอกอากาศโดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐาน ANSI/AHAM AC-1-2002 เป็นแนวทาง ระบบการทดสอบประกอบด้วย เครื่องกำเนิดอนุภาคละอองลอยแบบการเผาไหม้ชีวมวลภายในห้องทดสอบขนาด 5.5 x 6.0 x 5.0 m เครื่องวัดฝุ่น PM2.5 ได้ถูกใช้วัดค่าความเข้มข้นเชิงมวลของอนุภาคภายในห้องทดสอบขณะขณะเปิดและปิดเครื่องฟอกอากาศที่ความสูงประมาณ 1.5 m และอัตราการไหลการเก็บตัวอย่าง 1.5 L/min เก็บข้อมูลทุก 1 นาทีเป็นเวลา 120 min จากการทดสอบพบว่าค่าประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM2.5 มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทดสอบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มเวลาในการทำให้อากาศไหลเวียนซ้ำภายในเครื่องฟอกอากาศมากขึ้นจึงทำให้สามารถกรองอนุภาคได้ดีขึ้น โดยประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM2.5 ที่นาทีที่ 1 เท่ากับ 10.47 % และเมื่อเวลาผ่านไป 120 min ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM2.5 เพิ่มขึ้นเป็น 93.70 % เมื่อคิดผลของการสลายตัวของฝุ่นตามธรรมชาติของฝุ่น PM2.5 แล้วจะได้ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM2.5 ที่นาทีที่ 1 เท่ากับ 12.80 % และเมื่อเวลาผ่านไป 120 min ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM2.5 เพิ่มขึ้นเป็น 97.70 % และมีค่าอัตราการปลดปล่อยอากาศสะอาดที่ประมาณ 7,750.93 ft³/hr

ในการศึกษาต่อไปควรมีการพัฒนาต้นแบบให้สามารถใช้งานเป็นเครื่องฟอกอากาศขนาดใหญ่สำหรับหอประชุมหรืออาคารเอนกประสงค์เพื่อทำเป็นพื้นที่ปลอดภัย (safety zone) จากฝุ่นควัน ควรมีการศึกษาต่อยอดต้นแบบนี้ให้สามารถใช้ในระบบ HVAC ของอาคารขนาดใหญ่และเป็นหอพักเก็บฝุ่นขนาดใหญ่สำหรับงานภายนอกอาคาร เพื่อแก้ปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทดสอบทั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Checa-Vizcaíno, M. A., González-Comadran, M. & Jacquemin, B. (2016). Outdoor air pollution and human infertility: a systematic review. *Fertility and Sterility* 106, 897 –904.e1. issn: 0015-0282.
- Chen, S. (2019). China builds "world's biggest air purifier" (and it seems to be working). A 100-metre high air purification tower in Xian in Shaanxi province has helped reduce smog levels in the city, preliminary results suggest Beijing, China: South China Morning Post, 2018. <https://www.scmp.com/news/china/society/article/2128355/china-builds-worlds-biggest-air-purifier-and-it-seems-be-working>.
- Crook, L. (2020). Studio Symbiosis proposes A~ura towers to alleviate air pollution in Delhi. *Dezeen Magazine*.
- Giles, C. (2019). This "tree" has the environmental benefits of a forest <https://edition.cnn.com/style/article/citytree-urban-pollution/index.html>.
- Grzebielec, A. (2017). Rusowicz, A. & Szelagowski, A. Air purification in industrial plants producing automotive rubber components in terms of energy efficiency. *Open Engineering* 7,1, 106–114.
- Hinds, WC., (1999). *Aerosol Technology*. John Wiley & Sons, New York.
- Intra, P., (2019). *Electrostatic aerosol measurement and control technology*, ChulaPress, Bangkok. (in Thai)
- Piselli, C., Castaldo, V., Pigliautile, I., Pisello, A. & Cotana, F. (2018). Outdoor comfort conditions in urban areas: Oncitizens' perspective about microclimate mitigation of urban transit areas. *Sustainable Cities and Society* 39, 16–36. issn: 2210-6707.
- Smog Free Tower. (2019). World's first smog vacuum cleaner which creates clean air parks <https://www.studioroosegaard.net/project/smog-free-tower>.
- USEPA. (1998). PM 2.5 general information, Office of Air Quality Planning and Standards.